

УДК 621.875.5

Эксплуатация порталных кранов "Ганц" и "Кировец" при ветровых нагрузках свыше паспортных значений

В.А. Подобед

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра управления судном и промышленного рыболовства

Аннотация. Изложена методика определения эксплуатационных зон порталных кранов "Ганц" и "Кировец" при ветровых нагрузках свыше паспортных значений с ограничениями, накладываемыми на технологию перегрузочных работ.

Abstract. The technique of definition of operational zones of portal cranes "Ganc" and "Kirovets" at wind loadings over passport values with the restrictions imposed on technology of reloading works has been stated.

1. Введение

Одним из способов повышения эффективности использования портовых кранов является их использование при ветровых нагрузках свыше паспортных значений. В соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (*Правила...*, 2000) работа порталного крана должна быть прекращена при скорости ветра, превышающей допустимую для данного типа крана, указанную в его паспорте. Например, паспортная скорость ветра для рабочего состояния крана "Ганц" составляет 18 м/с, а для крана "Кировец" – 20 м/с. Однако, если наложить ограничения на технологию перегрузочных работ, а именно: на вариант работы, вылет стрелы и угол поворота крана по отношению к направлению действия ветра, массу и наветренную площадь груза, то в этом случае кран можно эксплуатировать при скорости ветра значительно выше паспортной величины.

В статье (*Подобед, 2006*) приведены условия, ограничивающие величину показателей работоспособности порталных кранов при ветровых нагрузках. Основными показателями, определяющими работоспособность крана при ветре, являются эквивалентные нагрузки на электродвигатели механизмов поворота и вылета стрелы крана, углы раскачивания груза и управляемость крана, определяемая временем переходных процессов механизмов. Однако при наложении ограничений на геометрические параметры цикла работы крана при фиксированных режимах работы ПВ % и максимальных углах раскачивания груза основными показателями, определяющими работоспособность кранов, являются максимальные нагрузки, ограничиваемые максимальной электрической защитой, а также время переходных процессов (разгон и торможение) механизмов вылета стрелы и поворота крана.

На рис. 1 приведены характерные схемы обработки судна кранами по варианту склад – судно (погрузка или выгрузка сыпучих грузов), а также схемы работы крана на судне или на складе. В этих случаях накладываются ограничения на геометрические параметры цикла работы кранов, в частности, вылет стрелы и угол поворота крана. Для таких характерных схем (эксплуатационных зон) работы кранов можно определить максимально допустимую скорость ветра для их рабочего состояния из условий, ограничивающих перегрузку механизмов и обеспечивающих надежную управляемость кранов.

2. Исследование основных показателей работы кранов в экстремальных условиях

2.1. Проверка электродвигателей механизмов вылета стрелы и поворота крана на перегрузку в экстремальных условиях

Наиболее неблагоприятным случаем работы для электродвигателя механизма вылета стрелы крана является случай, когда изменение вылета стрелы происходит на вылете 20-22 м при движении стрелы против ветра и максимальном отклонении грузовых канатов от вертикали. Проверка электродвигателя механизма вылета стрелы на кратковременную перегрузку в момент преодоления порыва ветра максимальной силы в условиях установившегося движения определяется следующим неравенством

$$(P^{G_c+Q} + P_B + P_\alpha + P_\Omega) / \eta_c \leq P_{дв}^{max}, \quad (1)$$

где P^{G_c+Q} – приведенное к точке подвеса груза усилие в рейке стрелы от неуравновешенности собственного веса стрелы G_c и веса груза Q ; $P_B = A C_\lambda K V^2 F_\rho$ – действующая на стрелу ветровая нагрузка, приведенная к точке подвеса груза; P_α – горизонтальная сила, вызванная отклонением груза от вертикали под действием сил инерции и давления ветра (по данным завода-изготовителя, для I расчетного случая $\alpha_1 = 7.5$, а для II – 15°); P_Ω – центробежная сила, вызванная вращением поворотной части крана:

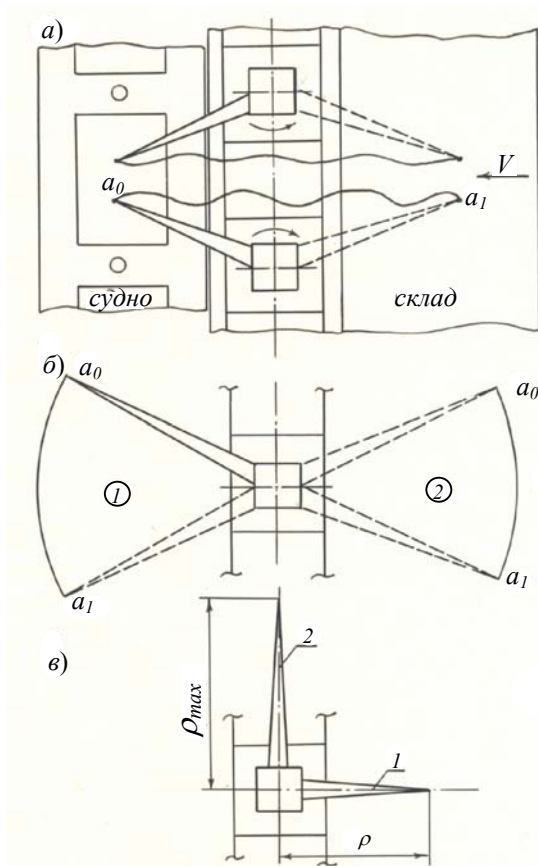


Рис. 1. Характерные расчетные схемы работы кранов: а) – схема обработки судна кранами; a_0 , a_1 – траектория движения точки подвеса груза; б) – зоны работы крана: 1 – при попутном и 2 – при встречном направлении ветра; в) – схема положений крана при расчете механизмов на ветровую нагрузку: 1 – изменения вылета стрелы; 2 – поворота крана

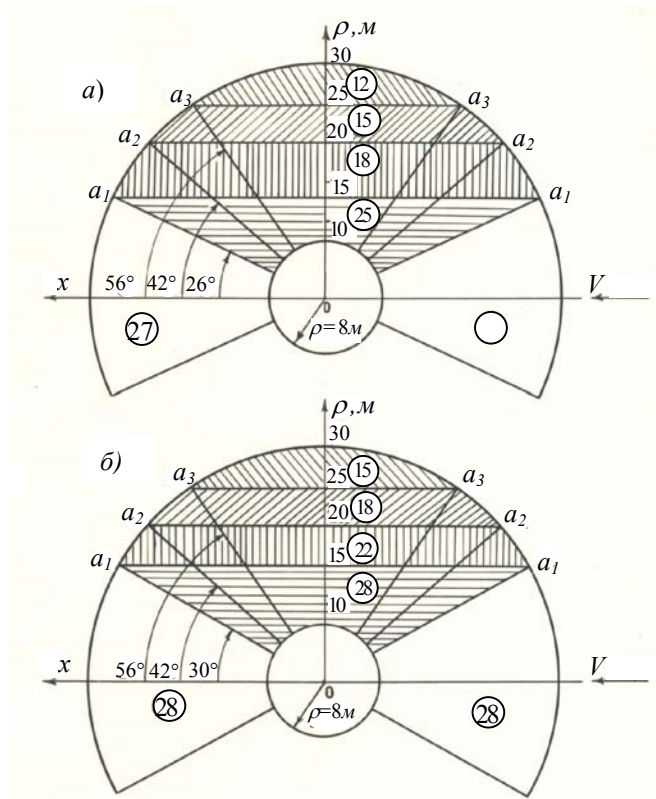


Рис. 2. Эксплуатационные зоны, ограничиваемые вылетом стрелы ρ (м) и углом поворота крана φ (в градусах) для кранов: а – "Ганц", б – "Кировец". Кружками обозначены величины допускаемых скоростей ветра (м/с) для соответствующих эксплуатационных зон

$$P_{ц} = 0,5J_{\rho}\dot{\varphi}^2;$$

$P_{дв}^{max}$ – максимальное усилие двигателя, ограничиваемое его перегрузочной способностью (электрической защитой); η_c – к.п.д. механизма вылета стрелы.

Подставляя выражения составляющих в неравенство (1) и разрешая его относительно скорости ветра для рабочего состояния, получим

$$V \leq \sqrt{\left(P_{дв}^{max} \cdot \eta_c - P^{G+Q} - Q \operatorname{tg} \alpha_{\rho} - 0,5J_{\rho}\dot{\varphi}^2 \right) / 0,0625 \cdot 10^{-3} K F_{\rho} C_x}. \quad (2)$$

Запишем условие проверки электродвигателя механизма поворота крана на кратковременную перегрузку в момент преодоления порыва ветра максимальной силы для установившегося движения при наличии крана и отклонения груза от вертикали

$$M_{тр} + M_{в} + M_{y}^{max} + M_{\alpha} \leq M_{дв}^{max} \cdot \eta_{п}, \quad (3)$$

где $M_{тр}$ – момент от сил трения в механизме поворота; $M_{в}$ – момент от сил ветра на поворотную часть

$$M_{в} = AC_M F_{\varphi} \rho (\dot{\varphi} \rho V \sin \varphi + V^2);$$

M_{y}^{max} – момент сопротивления от крана (наклона оси вращения) поворотной части крана; M_{α} – момент силы от отклонения груза от вертикали под действием сил инерции и ветровой нагрузки $\alpha_{\varphi} \approx \alpha_{\rho}$, $M_{\alpha} = Q \rho \operatorname{tg} \alpha_{\varphi}$; $\eta_{п} = 0.8$ – к.п.д. механизма поворота; $M_{дв}^{max}$ – максимальный момент двигателя, ограничиваемый электрической защитой.

Подставляя выражения составляющих в неравенство (3), получим:

$$M_{\text{тр}} + AC_M F_\varphi \rho (\dot{\varphi} \rho V \sin \varphi + V^2) + M_y^{\text{max}} + Q \rho \text{tg} \alpha_\varphi \leq M_{\text{дв}}^{\text{max}} \eta_{\text{п}}. \quad (4)$$

Разрешим неравенство (4) относительно скорости ветра V при $\varphi = 90^\circ$:

$$V \leq \left(-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac} \right) / 2a, \quad (5)$$

где $a = AC_M F_\varphi \rho$; $b = AC_M F_\varphi \rho^2 \dot{\varphi} \sin \varphi$; $c = M_{\text{тр}} + M_y^{\text{max}} + Q \rho \text{tg} \alpha_\varphi - M_{\text{дв}}^{\text{max}} \eta_{\text{п}}$.

2.2. Определение времени пуска механизмов вылета стрелы и поворота крана в экстремальных условиях

Наиболее неблагоприятным случаем для пуска двигателя механизма вылета стрелы являются положения стрелы и направления ветра, при которых возникают максимальные нагрузки (рис. 1в, положение стрелы 1).

Для этого случая запишем условия пуска электродвигателя механизма вылета стрелы крана

$$P^{Q+G} + P_B + P_\alpha + P_\psi + P_{\text{и}} \leq P_{\text{ср}}^{\text{пуск}} \cdot \eta_c, \quad (6)$$

где P_α – горизонтальная сила, вызванная отклонением груза от вертикали под действием сил инерции и давления ветра на угол $\alpha = 4^\circ \div 5^\circ$; $P_{\text{и}}$ – сила инерции при разгоне механизма,

$$P_{\text{и}} = m(\dot{\rho}_{\text{н}}/t_{\text{п}});$$

$P_B = 0.04 \cdot 10^{-3} \cdot ((L^2 - (\rho - r_0)^2) / L^2) \cdot F_\rho V^2 \cos \varphi$ (для крана "Ганц"); $t_{\text{п}}$ – время пуска двигателя; $P_{\text{ср}}^{\text{пуск}}$ – среднепусковое усилие электродвигателя, приведенное к точке подвеса груза.

Подставляя выражения составляющих неравенство (6) и разрешая его относительно $t_{\text{п}}$, получим

$$t_{\text{п}} \geq \frac{2m_\alpha \dot{\rho}_{\text{н}}}{P_{\text{пуск}}^{\text{max}} \cdot \eta_c - P^{G+Q} - P_B - 2(P_\alpha + P_\psi)} \quad (7)$$

или

$$t_{\text{п}} \geq \frac{2m_\alpha \dot{\rho}_{\text{н}}}{P_{\text{пуск}}^{\text{max}} \cdot \eta_c - P^{G+Q} - 0,04 \cdot 10^{-3} \cdot ((L^2 - (\rho - r_0)^2) / L^2) F_\rho V^2 \cos \varphi - 2(Q \text{tg} \alpha + 0,5 J_\rho \dot{\varphi}^2)}. \quad (8)$$

Для экстремальных случаев время пуска механизма вылета стрелы крана "Ганц" составляет 4-5 с и находится в допустимых пределах.

Наиболее неблагоприятным случаем пуска электродвигателя механизма поворота крана является случай, когда поворотная часть крана начинает разгоняться против ветра при положении стрелы, перпендикулярном направлению ветра (рис. 1в, положение стрелы 2).

Запишем условие пуска механизма поворота с учетом давления ветра на груз и его инерции

$$M_B + M_{\text{вг}} + M_{\text{икр}} + M_{\text{игр}} + M_{\text{тр}} + M_y \leq M_{\text{ср}}^{\text{пуск}} \cdot \eta, \quad (9)$$

где M_B и $M_{\text{вг}}$ – моменты от сил ветра, соответственно, на поворотную часть крана и груз, приведенные к оси вращения крана; $M_{\text{икр}}$ и $M_{\text{игр}}$ – моменты от сил инерции, соответственно, поворотной части крана и груза, приведенные к оси вращения крана; $M_{\text{ср}}^{\text{пуск}} = (M_c + M_{\text{пуск}}^{\text{min}}) / 2$ – среднепусковой момент двигателя, приведенный к оси вращения крана; η – к.п.д. механизма поворота крана. $M_c = M_B + M_{\text{вг}} + M_{\text{т, y}}$ – суммарный момент статического сопротивления, приведенный к оси вращения крана.

Подставляя выражения моментов в неравенство (9) с учетом жесткого подвеса груза и разрешая его относительно времени пуска, получим

$$t_{\rho}^{\text{п}} \geq \frac{2\dot{\varphi}(I_0 + I_\rho + m\rho^2)}{M_{\text{пуск}}^{\text{max}} \cdot \eta_{\text{п}} - M_B - M_{\text{вг}} - M_{\text{тр}} - M_y} \quad (10)$$

или

$$t_{\rho}^{\text{п}} \geq \frac{2\dot{\varphi}(I_0 + I_\rho + m\rho^2)}{M_{\text{пуск}}^{\text{max}} \cdot \eta_{\text{п}} - AC_M F_\varphi \rho V^2 - AC_\Gamma F_\Gamma \rho V^2 \sin^2 \varphi - M_{\text{тр}} - M_y}. \quad (11)$$

На максимальных вылетах стрелы время пуска механизма поворота крана "Ганц" будет находиться в пределах 10÷12 с. Однако, учитывая гибкость подвеса груза и то обстоятельство, что разгон механизма поворота крана на этих вылетах стрелы происходит, как правило, до скорости $\dot{\varphi} = (0,3 \div 0,5) \dot{\varphi}_{\text{н}}$ при совмещенных движениях и технологических операциях (нацеливание груза и т.п.), время пуска механизма крана "Ганц" на расчетных вылетах будет в допустимых пределах: 5-10 с.

2.3. Определение времени торможения механизмов вылета стрелы и поворота крана в экстремальных условиях

Наиболее неблагоприятным случаем работы тормозов механизмов является изменение вылета стрелы с грузом по ветру при вращающемся кране. Для крана "Ганц" тормозной путь должен составлять 0.6-1.0 м и в исключительных случаях – до 1.5 м, а время торможения – 3-4.5 с.

Запишем условие торможения механизма изменения вылета стрелы

$$(P^{Q+G} + P_B + P_\alpha + P_\Pi + P_H) \cdot \eta_c \leq P_T^{max}. \quad (12)$$

или

$$(P^{Q+G} + AC_x KV^2 F_\rho + Q \operatorname{tg} \alpha_\rho + 0,5J_\rho \dot{\varphi}^2 + m_\alpha \dot{\rho}_H t_T^{-1}) \cdot \eta_c \leq P_T^{max}. \quad (13)$$

Из данного неравенства найдем время торможения механизма вылета стрелы

$$t_T \geq \frac{m_\alpha \dot{\rho}_H}{P_T^{max} / \eta_c - P^{Q+G} - AC_x KV^2 F_\rho - Q \operatorname{tg} \alpha_\rho - 0,5J_\rho \dot{\varphi}^2}. \quad (14)$$

Наиболее неблагоприятным случаем для работы тормоза механизма поворота крана является случай торможения механизма при вращении крана с грузом по ветру (начало торможения соответствует положению стрелы перпендикулярному направлению ветра).

Запишем условие торможения механизма

$$(M_B + M_{BГ} + M_{икр} + M_{игр} - M_{тр} + M_y) \cdot \eta_\Pi \leq M_T^{max}. \quad (15)$$

Подставляя выражения составляющих в неравенство (15), определим время торможения механизма поворота крана при $\varphi = 90^\circ$.

$$t_T^\Pi \geq \frac{\dot{\varphi}(I_0 + I_\rho + m\rho^2)}{M_T^{max} / \eta_\Pi - A\rho V^2(C_M F_\varphi + C_T F_T \sin^2 \varphi) + M_{тр} - M_y}. \quad (16)$$

При торможении механизма поворота крана "Ганц" на максимальных вылетах в экстремальных условиях время торможения составляет 8-10 с, что вполне отвечает правилам безопасности.

3. Заключение

Определены основные показатели работоспособности порталных кранов при повышенных ветровых нагрузках свыше паспортных значений с ограничениями, накладываемыми на технологию перегрузочных работ (вариант работы, геометрические параметры цикла работы крана, масса и наветренная площадь груза).

На рис. 2 приведены эксплуатационные зоны кранов "Ганц" и "Кировец" при скоростях ветра свыше паспортных, рассчитанные из условий, приведенных в (Подобед, 2006), и формул (1-16). Зоны ограничиваются вылетами стрелы (ρ) и углами поворота крана (φ) при указанном на рисунке направлении ветра. Границы эксплуатационных зон – хорды: a_1a_1 , a_2a_2 , a_3a_3 являются допустимыми трассами перемещения точки подвеса груза, которые описываются уравнениями прямой $\rho = [\rho] \sin \varphi$, где $[\rho]$ – допустимый минимальный вылет крана для данной эксплуатационной зоны. При любом другом направлении ветра схема эксплуатационных зон крана ориентируется так, чтобы ось x совпадала с направлением ветра. В этом случае она даст информацию о допустимых параметрах работы крана при соответствующей ветровой нагрузке. Схемы эксплуатационных зон кранов симметричны относительно оси x .

Полная реализация расчетных эксплуатационных зон возможна при автоматическом или полуавтоматическом управлении крановыми механизмами. При этом краны рекомендуется оборудовать ветроизмерительными приборами, показывающими скорость и направление ветра, с включением их в систему управления, ограничивающую вылет стрелы и угол поворота крана.

Литература

- Ерофеев Н.И., Лисовой П.Я., Подобед В.А. Экспериментальное определение аэродинамических характеристик модели порталного крана. *Известия вузов. Машиностроение*, № 5, с.127-131, 1976.
 Подобед В.А. Теоретические исследования основных показателей работы порталного крана "Альбрехт" при динамическом воздействии ветра. *Вестник МГТУ*, т.9, № 3, с.522-530, 2006.
 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. ПБ 10-382-00. *Госгортехнадзор России*, 2000.